Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 2, June. July. 2018, p. 427-438

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 2، خرداد- تیر 1397 ص 438-427

مطالعه عوامل مؤثر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حرارتی پودر خرمای کبکاب: بهینه‌سازی تأثیر دما و ترکیبات ضدچسبندگی

نازنین عبدی[1]- ندا مفتون آزاد[2*]- امیر حیدری نسب[3]- فوژان بدیعی[4]

تاریخ دریافت: 1395/09/28
تاریخ پذیرش: 1396/03/06

چکیده

یکی از محصولات جانبی خرما، پودر خرما می‌باشد که کاربردهای متعددی در صنایع غذایی دارد. مشکل اصلی پودر میوه‌ها چسبندگی طی خشک کردن، انتقال و نگهداری پودر است. برای جلوگیری از چسبندگی و کلوخه ای شدن پودر خرما، مالتودکسترین در سه غلظت (35، 45 و 55%) به‌عنوان ماده کمکی در خشک کردن و سیلیکون دی اکسید در سه غلظت (صفر، 0/75 و 1/5%) به‌عنوان ماده ضدکلوخه شدن به خمیر خرما قبل از خشک شدن اضافه شد. نمونه‌ها در سه دمای 50، 60 و70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. خواص فیزیکوشیمیایی و حرارتی پودر خرما شامل رطوبت، دانسیته توده، گرمای ویژه و دمای انتقال شیشه‌ای اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که افزایش غلظت مالتودکسترین سبب افزایش پارامترهای دانسیته، *L و دمای تغییر شیشه‌ای گردید ولی رطوبت پودر، مقدار *a و گرمای ویژه کاهش یافت. افزایش میزان سیلیکون دی اکسید سبب افزایش رطوبت، دانسیته و کاهش *L گردید. اثرات متقابل دما و مالتودکسترین و نیز دما و سیلیکون دی اکسید سبب کاهش رطوبت خرما، افزایش دانسیته، کاهش *L و *a و افزایش *b گردید. ترموگرام‌های پودر خرما نشان دهنده وجود ساختمان نیمه بلوری در پودر خرما بود. براساس نتایج، بهترین شرایط برای تهیه پودر خرما دمای 70°C، 55% مالتو دکسترین و 0/75% سیلیکون دی اکسید بود.

واژه‌های کلیدی: خرمای کبکاب، دانسیته توده، رنگ، رطوبت، روش سطح پاسخ.

مقدمه

خرما از محصولات عمده کشاورزی ایران است که می‌تواند سهم با ارزشی از صادرات غیرنفتی کشور را به‌خود اختصاص دهد. براساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO) میزان تولید خرمای ایران در سال 2010 میلادی یک میلیون تن برآورد شده است که حدود 20 درصد تولید جهانی است (FAO, 2010). خرما با سطح بارور 1985108 هکتار و تنوع فراوان (حدود400 رقم) جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی ایران دارد (آمارنامه کشاورزی، 1393).

خرما با نام فونیلکس داکتیلی فرا (*Phoenix dactyliferal*) از گذشته‌های دور از مهم‌ترین محصولات در مناطق خشک خاورمیانه مانند عراق، ایران، شبه جزیره عربستان، شمال آفریقا وخاورمیانه بوده است (Chao & Krueger, 2007).میوه خرما دارای طعم شیرین و دلپذیر بوده و بسیار مقوی است و سرشار از انواع ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد. مقدار انرژی که هر کیلوگرم خرما تولید می‌کند، حدود 3000-2500 کیلوکالری است. این میوه به‌طور استثنایی سرشار از پتاسیم بوده و مقدار سدیم آن بسیار ناچیز است (عرارگاطع، 1390). ارقام خرما چربی و پروتئین کمی دارند ولی از نظر فیبر رژیمی غنی هستند و منبع خوبی ازآنتی اکسیدان‌های طبیعی شامل سلنیم، کاروتنوئیدها و ترکیبات فنولی هستند. ارقام خرما را می‌توان به‌عنوان مواد غذایی عملگرا در نظر گرفت (Sahari *et al*., 2008).

از میان محصول خرمای هر سال ایران، 10 درصد برای صادرات به کشورهای دیگر اختصاص می‌یابد، 50 درصد به مصرف داخلی می‌رسد و 40 درصد هم در مراحل مختلف برداشت محصول ضایع شده واز بین می‌رود (بدیعی، 2012). بنابراین استفاده از این محصول در صنایع تبدیلی می‌تواند تا حد زیادی از ضایعات این محصول

1- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، تهران.
2- دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز.
3- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران.
4- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج .
(*مسئول مکاتبات: Email: n.maftoon@areo.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1396i0.61114

جلوگیری نماید. علاوه بر مصرف غذایی می‌توان از محصول خرمای با کیفیت پایین، استفاده‌های متنوعی نظیر شیره خرما، قند مایع، سرکه خرما، الکل، عصاره و پودر خرما شود. با خشک کردن خرما و تولید پودر آن، ضمن افزایش مدت نگهداری خرمای درجه دو و سه، امکان مصرف آن در فرمولاسیون مواد غذایی و صنعتی به‌عنوان جایگزین تمام یا قسمتی از شکر مصرفی فراهم می‌شود. خشک کردن، فرآیند حذف رطوبت از طریق انتقال حرارت از فضای پیرامون به ماده غذایی است که موجب تبخیرسطحی می‌شود. ماده خشک خرما عمدتاً حاوی فروکتوز، گلوکز و مقادیر زیادی فیبرهای رژیمی است. مقدار بالای سلولز و همی‌سلولز در خرما باعث افزایش حرکات روده‌ای و حفظ فعالیت آن می‌شود. مشکل اصلی پودر میوه‌ها چسبندگی طی خشک کردن، انتقال و نگهداری پودر است. چسبندگی در پودر خرما عمدتاً به‌دلیل وجود قندهای با وزن مولکولی کم‌نظیر فروکتوز، گلوکز، ساکارز و اسیدهای آلی در میوه است. اسیدهای آلی در حالت آمورف (غیرکریستال) بسیار جاذب‌الرطوبه بوده و دمای انتقال شیشه‌ای پایینی دارند (Roos, 1995). در اثر فرآیند خشک کردن بخش عمده‌ای از این قندها به شکل (آمورف بی‌شکل) تبدیل می‌شود. این حالت از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است و حالت فیزیکی قندهای آمورف بسیار وابسته به شرایط محیطی، دما و رطوبت دارد. برای کنترل چسبندگی مواد غذایی باید به میزان آب موجود در آن و حالت فیزیکی غذاهای جامد پی برد. فعالیت آبی(aw)[1] و دمای انتقال شیشه‌ای(Tg)[2] ابزارهای مهمی برای پیش‌بینی آب موجود در غذاها و حالت فیزیکی غذاهای جامد است (Roos, 1995).

یک راه حل کاهش آب دوستی، افزودن یک پلیمر کربوهیدراتی نظیرمالتودکسترین است (Tlis&Martinez– Navarrete, 2009). مالتودکسترین‌ها گروهی از ترکیبات مشتق شده از هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی نشاسته (Chronakis, 1998; Wany, 2000; Dokic *et al.*, 2004; Zheng *et al.*, 2007)، شامل الیگومرها و پلیمرهای آلفا-1، 4 دی گلوکز با معادل دکستروزی کم تر از 20 می‌باشند (Zheng *et al.*, 2007). در بررسی اثر افزودن مالتودکسترین، گلیسرول منو استئارات و فسفات تری کلسیم بر خواص پودر انبه در خشک کن خلاء مشخص شد که 0/43 تا 0/57 کیلوگرم مالتودکسترین و 0/025 کیلوگرم فسفات تری کلسیم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک انبه پودر مناسبی را تولید می‌کند (Jaya & Das, 2004; Sablani *et al.*, 2008).

هدف از این تحقیق بررسی تعیین میزان مالتودکسترین و سیلیکون دی اکسید در ترکیب با خمیر خرما تاثیر آن بر برخی خواص فیزیکوشیمیایی پودر تولیده شده با استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خرمای کبکاب ازمنطقه کازرون فارس تهیه شد. سیلیکون دی‌اکسید از شرکت مرک آلمان و مالتودکسترین از شرکت سیگما آلدریچ تهیه گردید.

تعیین رطوبت نمونه

رطوبت نمونه‌ها در خشک‌کن خلا در دمای 70 درجه سانتی‌گراد مطابق روش استاندارد AOAC تعیین شد (AOAC, 1990).

تعیین ترکیب شیمیایی خرما

میزان چربی به روش سوکسله با حلال n-هگزان، پروتئین به‌روش کلدال، میزان قندکل و قند احیاءکننده به روش فهلینگ و میزان فیبر کل به روش هضم اسید- قلیا مطابق روش استاندارد AOAC تعیین شد (AOAC, 1990).

تهیه پودر خرما

خرمای تازه، هسته‌گیری، و با استفاده از چرخ‌گوشت به خمیری یکنواخت تبدیل گردید. در مطالعات اولیه مقادیر مختلف مالتودکسترین (70-5 درصد وزنی) به خمیر خرما اضافه شد. ارزیابی‌ها نشان داد که مقادیر بالای مالتودکسترین سبب ایجاد تاثیرات نامطلوب بر رنگ، طعم و قابلیت پذیرش کلی خمیر خرما و پودر حاصل از آن می‌گردد. همچنین حداقل 30 درصد وزنی مالتودکسترین لازم است تا خمیر مناسبی که چسبنده نبوده و به راحتی قابل جدا شدن از سینی خشک‌کن کابینتی باشد تولید نماید. بنابراین در آزمایشات اصلی از 35، 45 و 55 درصد وزنی مالتودکسترین در خمیر خرمای کبکاب استفاده شد. همچنین از سیلیکون دی اکسید در مقادیر (صفر، 0/75، 1/5 درصد وزنی) به‌عنوان ماده ضدکلوخه شدن استفاده گردید. سپس نمونه‌ها به طور جداگانه بر روی سینی خشک‌کن کابینتی به ضخامت 5 میلی‌متر پهن شده و در دمای 70°C خشک شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن با آسیاب خرد و به پودر تبدیل گردیدند. با الک آزمایشگاهی پودرهایی با اندازه 1 میلی‌متر به‌دست آمد و پودرهای حاصله در کیسه‌های پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا در دسیکاتور نگهداری گردید.

تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر خرما

رطوبت پودر خرما

رطوبت نمونه‌ها در خشک‌کن خلا در دمای 70°C مطابق روش

1 Water activity
2 Glass transition temperature

استاندارد AOAC تعیین شد (AOAC, 1990).

دانسیته توده پودر خرما

دانسیته توده با اندازه‌گیری جرم و حجم پودر انجام شد. برای این منظور مکعبی به طول 64/95 میلی‌متر و عرض 18/08 میلی‌متر و ارتفاع 17/86 میلی‌متر و وزن 6/1565 گرم، با پودر خرما کاملا پر می‌شود و مازاد پودر با کشیدن خط‌کش بر دهانه مکعب برداشته می‌شود، وزن پودر درون مکعب توسط ترازو دقیقا اندازه‌گیری می‌شود. حجم نمونه نیز با اندازه‌گیری ارتفاع و قطر استوانه به‌دست می‌آید (حجم برابر است با 20972/92 میلی‌مترمکعب) (Sablani *et al*., 2008).

رنگ پودر خرما

رنگ نمونه‌های پودر خرما به روش هانترلب (مدل DP900، آمریکا) اندازه‌گیری شد. دستگاه با استفاده از صفحات استاندارد سفید و سیاه کالیبره شد. رنگ نمونه‌ها در 3 نقطه متفاوت برای به‌دست آوردن میانگین مقدارهای L^*، a^* و b^*، 3 مرتبه اندازه‌گیری شد. L^* نمایانگر روشنی از صفر=L^* برای سیاه تا 100=L^* برای سفید، a^* از 60-=a^* برای سبز تا 60=a^* برای قرمز و b^* از 60-=b^* برای آبی تا 60=b^* برای زرد است.

خواص حرارتی پودر خرما

پس از مشخص شدن شرایط بهینه فرآیند، نمونه‌های پودر خرما با درصدهای مختلف مالتودکسترین و 0/75 درصد سیلیکون دی‌اکسید در دمای 70 درجه آماده و خواص حرارتی پودر خرما بر روی این نمونه‌ها مطالعه شد. حدود 5 میلی‌گرم نمونه در ظروف کوچک DSC از جنس آلومینیوم پر وکاملاً دربندی شد. دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) و گرمای ویژه پودر خرما با حرارت دادن نمونه در DSC (DSC1 Mettler Toledo) اندازه‌گیری شد. ابتدا DSC از نظر دما و آنتالپی با ایندیوم (ΔH=28.45 J/g) کالیبره و ظرف کوچک خالی DSC ازجنس آلومینیوم به‌عنوان معرف در نظرگرفته شد. نمونه‌ها از 50°C- تا 100°C باسرعت 10°C/min حرارت داده شدند. T_g با محاسبه نقطه ابتدایی ($T_{g\ onset}$) و میانی ($T_{g\ midpoint}$) تغییرپله‌ای گرمای ویژه نمونه‌ها طی حرارت‌دهی توسط نرم‌افزار STAR^e system محاسبه شد (Behlau &Widmann, 2008).

تجزیه وتحلیل آماری داده‌ها

از آنجا که هدف اصلی پژوهش بررسی اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای دمای هوای خشک‌کن، غلظت مالتودکسترین و غلظت سیلیکون دی‌اکسید (ماده ضدکلوخه‌شدن) بر رطوبت، دانسیته توده، رنگ و خواص حرارتی پودر خرما بود، طرح آماری رویه سطح پاسخ RSM انتخاب (جدول 1) و براساس تعداد فاکتورها و سطوح آنها، شرایط 20 تیمار مختلف خشک کردن مشخص شد. 6 تکرار نقطه مرکزی جهت تعیین خطای آزمایش منظور گردید.

جدول 1- نمایش متغیر های مستقل فرآیند و مقادیر آنها

متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		1	0	-1
غلظت مالتودکسترین	X_1	35	45	55
غلظت سیلیکون دی اکسید	X_2	0	0/75	1/50
دمای هوای خشک‌کن °C	X_3	50	60	70

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حرارتی پودرهای حاصل شامل رطوبت، دانسیته توده، رنگ و خواص حرارتی پودر خرما به‌عنوان متغییر وابسته یا پاسخ (Y) در نظرگرفته شد. روش RSM اثر هر متغییر مستقل و تأثیر متقابل فاکتورها را بر روی هر متغییر وابسته به‌صورت جداگانه با استفاده از معادله زیر (معادله 1) بیان می‌نماید:

$$Y=b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (1)$$

در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش‌بینی شده، b_0 ضریب ثابت، b_1، b_2 و b_3 اثرات خطی، b_{11}، b_{22} و b_{33} اثر مربعات و b_{12}، b_{13}، b_{23} اثرات متقابل و X_1، X_2 و X_3 متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند. به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ از نرم‌افزار Design Expert 7 استفاده گردید. میزان برازش مدل با استفاده از R^2 و adj-R^2 ارزیابی شد. بالا بودن مقدار R^2 همیشه دلیل بر مناسب بودن مدل نمی‌باشد و ترجیحا از adj-R^2 برای ارزیابی برازش مدل استفاده می‌شود که بایستی بالاتر از 85 درصد باشد (Myers & Montgomer, 1995). به‌منظور تعیین شرایط بهینه فرآیند تولید پودر خرما از تکنیک بهینه‌سازی عددی در نرم‌افزار استفاده گردید. آزمون تأثیر مالتودکسترین بر روی خواص حرارتی پودر خرما نیز در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام

شد. مالتودکسترین به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. داده‌ها بر اساس روش تجزیه واریانس (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه 18) آنالیز شدند و جملات معنی‌دار در مدل برای هر پاسخ مشخص شد. معنی‌دار بودن با تعیین سطح احتمال کمتر از 5 درصد، تعیین گردید.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی خرمای کبکاب در جدول 2 نشان داده شده‌است. رطوبت اولیه خرما 0/5±74/5% بود. کربوهیدرات‌ها ترکیب اصلی ماده خشک خرما را تشکیل می‌دهند و عمدتاً از قندهایی با وزن مولکولی پایین نظیر گلوکز، فروکتوز و ساکارز تشکیل شده‌اند. این قندها به شدت بر پایداری پودر خرما در مدت نگهداری در دماهای بیش از انتقال شیشه‌ای اثر می‌گذارند.

جدول 2- ترکیب شیمیایی خرمای کبکاب (بر حسب ماده خشک)

ترکیب	درصد
پروتئین	3/72 ± 0/1
چربی	0/72 ± 0/02
قند کل	35/51 ± 0/12
فیبر	15/1 ± 0/155
خاکستر	1/82 ± 0/05

به‌منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چندجمله‌ای درجه دوم برای داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب گزینش گردد. نتایج حاصل از مدل درجه دوم سطح پاسخ در فرم ANOVA در جدول 3 آورده شده است.

نتایج حاصل نشان داد که مدل‌های درجه دوم برازش شده با ضریب اطمینان بیش از 92درصد ($R^2>92$) با داده‌های آزمایش مطابقت نداشته و معنی‌دار بودند ($P<0.05$). ضرایب رگرسیون بالا نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی توانسته نتایج به‌دست آمده را پیش‌بینی کند. معادلات 2 تا 6 روابط بین محتوای رطوبت، دانسیته توده و رنگ پودر خرما را با پارامتر های خشک کردن (غلظت مالتودکسترین و سیلیکون دی‌اکسید و دمای خشک کردن) نشان می‌دهد.

$$\text{Density (gr/cm}^3) = 0.70362 - 2.013\times10^{-3}X_1 + 6.864\times10^{-3}X_2 + 0.0854X_3 - 1.162\times10^{-4}X_1X_2 - 8.495\times10^{-4}X_1X_3 + 1.2951\times10^{-3}X_1^2 + 0.01296X_3^2 \quad (2)$$

$$\text{Moisture (\%)} = 2.40242 - 0.0439X_1 + 0.05734X_2 + 0.5502X_3 + 6.125\times10^{-4}X_1X_2 - 6.5\times10^{-3}X_2X_3 \quad (3)$$

$$L^* = 86.666 + 1.3277X_1 - 1.5736X_2 - 3.0272X_3 - 8.5\times10^{-3}X_1X_2 - 8.914\times10^{-3}X_1^2 + 0.01404X_2^2 \quad (4)$$

$$a^* = 36.4951 - 0.5695X_1 - 0.5273X_2 + 1.9345X_3 + 6.40\times10^{-3}X_1X_2 \quad (5)$$

$$b^* = 27.831 - 0.2085X_1 - 0.0733X_2 - 5.277X_3 + 1.425\times10^{-3}X_1X_2 + 0.021X_1X_3 + 0.043X_2X_3 - 0.8275X_3^2 \quad (6)$$

برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار سه‌بعدی سطح پاسخ رسم شده توسط مدل استفاده شد. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالتی که متغیر سوم در نقطه مرکزی قراردارد، بررسی گردیده است.

رطوبت پودر خرما

طبق جدول 3 اثر خطی و متقابل افزایش مقدار مالتودکسترین بر رطوبت پودر خرما معنی‌دار شده است و افزایش غلظت سیلیکون دی‌اکسید و دمای خشک کردن تأثیر متقابل و خطی بر تغییر رطوبت پودر خرما داشته است (شکل 1-الف).

شکل 1-ب نشان می‌دهد که با افزایش غلظت سیلیکون دی‌اکسید رطوبت پودر خرما افزایش یافت ولی اثر متقابل این دو عامل سبب کاهش رطوبت پودر خرما گردید.

افزایش دما نیز باعث کاهش محتوای رطوبت پودر خرما شد. زیرا افزایش دمای هوای ورودی باعث افزایش ظرفیت نگهداری بخار آب قبل از رسیدن به حالت اشباع شده و در اثر افزایش دمای هوای خروجی، سرعت تبخیر و ضریب انتقال رطوبت افزایش می‌یابد، در نتیجه محتوای رطوبت محصول نهایی کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی در تولید پودر پرتقال (Chegin *et al.*, 2005)، هندوانه (Quek *et al.*, 2007) و آناناس (Abadio *et al.*, 2004) مشاهده شد. افزایش مالتودکسترین باعث کاهش محتوای رطوبت پودر خرما شد. زیرا با افزایش میزان مالتودکسترین، میزان مواد جامد محصول تغذیه شده به دستگاه افزایش یافته، در نتیجه محتوای رطوبت محصول نهایی کاهش می‌یابد. نتایج تعدادی ازپژوهش‌های پیشین موید یافته‌های این تحقیق می‌باشد (Quek *et al.*, 2007; Kha *et al.*, 2010; Grabowski *et al.*, 2006; Falade *et al.*, 2007)، در صورتی که نتایج حاصل از Goula و همکاران (2010) نشان داد که افزایش مالتودکسترین باعث افزایش محتوای رطوبت پودر پرتقال می‌شود، زیرا افزایش مالتودکسترین، عبور مولکول‌های آب را از مولکول‌های بزرگ مالتودکسترین مشکل می‌سازد.

دانسیته پودر خرما

جدول 3 نشان می‌دهد که اثر خطی، درجه دوم و متقابل افزایش غلظت مالتودکسترین بر دانسیته پودر خرما معنی‌دار شده است و افزودن SiO_2 و افزایش دمای خشک کردن تأثیر خطی و همچنین افزودن SiO_2 اثر درجه دوم بر تغییر دانسیته پودر خرما داشته است

(شکل 2-الف). افزایش دانسیته در دمای 50°C با شیب بیشتری همراه بود. همانطور که در شکل 2- ب مشاهده می‌گردد با افزایش درصد سیلیکون‌دی اکسید و مالتودکسترین مقدار دانسیته پودر خرما افزایش یافت. همچنین اثر متقابل این دو عامل باعث افزایش بیشتر دانسیته پودر خرما گردید. افزایش ذرات ریزتر و سنگین‌تر مالتودکسترین و سیلیکون دی اکسید در خمیر خرما باعث شد تا پودر متراکم‌تری بوجود آید و دانسیته افزایش یابد (Farahnaky *et al*., 2016). افزایش دمای خشک کردن نیز منجر به تولید ذرات فشرده‌تر با دانسیته بالاتر گردیده است (Mishra *et al*. 2014).

رنگ پودر خرما

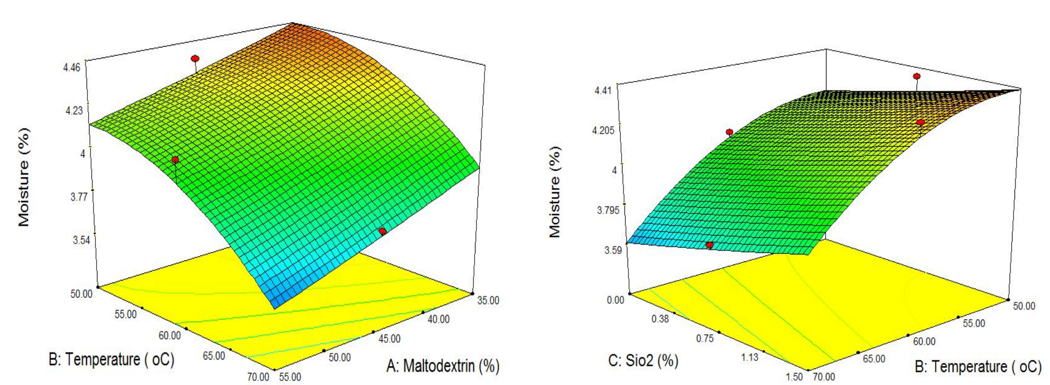
همانطور که در شکل 3-الف مشاهده می‌گردد با افزایش مالتودکسترین، شاخص *L افزایش یافت ولی با افزایش دمای خشک کردن شاخص *L پودر خرما کاهش یافت و رنگ پودر خرما با کاهش شاخص *L تیره‌تر گردید. اثر متقابل این دو عامل سبب کاهش شاخص *L رنگ پودر خرما گردید و رنگ پودر خرما تیره‌تر شد. جدول 3 نیز میزان معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل مالتودکسترین، سیلیکون دی‌اکسید و دما را بر میزان *L نشان می‌دهد. شکل 3-ب تأثیرات افزایش غلظت سیلیکون دی‌اکسید و دما را بر شاخص روشنایی پودر خرما نشان می‌دهد.

با افزایش مالتودکسترین میزان شاخص *a رنگ پودر خرما (میزان قرمزی رنگ پودر خرما) کاهش یافت ($P<0.01$). افزایش دمای خشک کردن و غلظت سیلیکون دی‌اکسید نیز سبب افزایش میزان شاخص *a رنگ پودر خرما شدند ($P<0.01$)(شکل 4).

جدول 3 نشان می‌دهد که اثر خطی و متقابل افزایش غلظت مالتودکسترین بر شاخص *b رنگ پودر خرما معنی‌دار شده است. افزودن SiO_2 اثر خطی، درجه دوم و متقابل و افزایش دمای خشک کردن تأثیر خطی و متقابل بر تغییر شاخص *b رنگ پودر خرما داشته است.

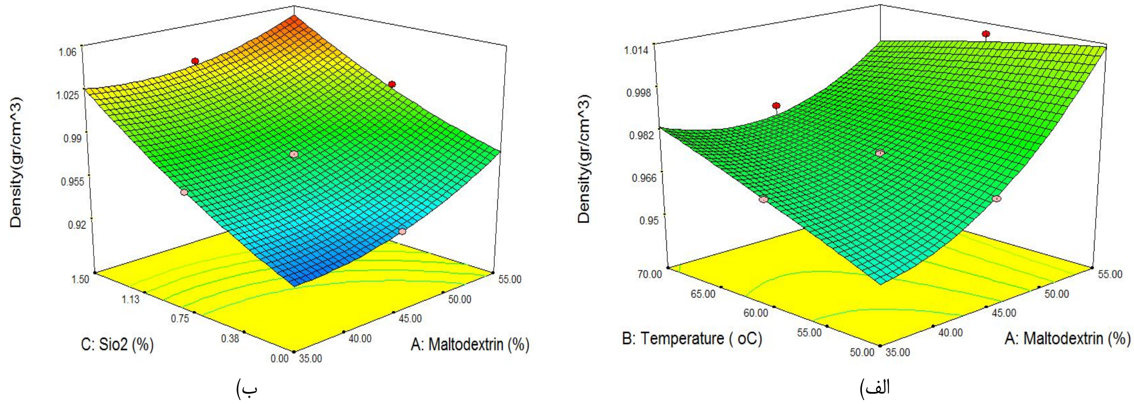
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس

منبع	درجه آزادی	رطوبت		دانسیته		رنگ L		رنگ a*		رنگ b*	
		ضریب رگرسیون	احتمال	ضریب رگرسیون	احتمال	ضریب رگرسیون	احتمال	ضریب رگرسیون	احتمال	ضریب رگرسیون	احتمال
مدل	۹	۴/۳۴	۰/۰۰۱۲	۰/۹۷۰	۰/۰۰۰۱	۶۰/۲	۰/۰۰۰۲	۸/۳۷	۰/۰۰۰۲	۲۴/۱	۰/۰۰۰۳
X_1	۱	۰/۲۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۹۰	۰/۰۰۰۱	۰/۵۷۰	۰/۰۰۵۴	−۰/۸۸۰	۰/۰۰۰۵	۰/۵۰۰	۰/۰۰۰۱
X_2	۱	۰/۱۷۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴۷۸	۰/۰۰۰۱	−۲/۵۴	۰/۰۰۰۱	۰/۴۰۰	۰/۰۳	۱/۷۲	۰/۰۰۰۱
X_3	۱	۰/۱۳۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۴۵۰	۰/۰۰۰۱	−۳/۲۰	۰/۰۰۰۱	۱/۱۶	۰/۰۰۰۱	−۲/۲۶	۰/۰۰۷
X_1X_2	۱	۰/۰۶۱۰	۰/۴۷۲	−۰/۰۱۲۰	۰/۰۳۱۰	−۰/۸۰۰	۰/۱۹۷۲	۰/۶۴۰	۰/۰۰۴۴	۰/۱۴۰	۰/۰۳۵۷
X_1X_3	۱	۰/۱۹۰	۰/۶۱۶	−۰/۰۰۶۳۷	۰/۰۳۱۰	۰/۱۵۰	۰/۰۳۷۲	−۰/۰۹۲۰	۰/۶۰۸۵	۰/۱۶۰	۰/۰۰۸۸
X_2X_3	۱	−۰/۰۴۹۰	۰/۵۴۱	−۰/۰۰۰۸۵۰	۰/۳۰۷	۰/۰۲۰۰	۰/۰۰۱۹	−۰/۱۴۰	۰/۴۷۴۴	۰/۳۲۰	۰/۳۰۵۹
X_1^2	۱	۰/۰۲۸۰	۰/۸۵۸	۰/۱۴۰	/۰۲۱۰	−۰/۸۹۰	۰/۸۸۴۲	۰/۱۲۰	۰/۵۱۴۷	۰/۱۷۰	۰/۰۷۰۱
X_2^2	۱	−۰/۰۵۲۰	۰/۰۰۳۲	−۰/۰۰۰۸۹۰	۰/۵۲۲	۱/۴۰	۰/۶۵۸	۰/۲۴۰	۰/۱۸۴۷	۰/۱۲۰	۰/۱۰۳۴
X_3^2	۱	−۰/۰۳۷۰	۰/۸۵۹	۰/۰۰۷۲۹	۰/۰۰۰۳	−۰/۶۴۰	۰/۲۶۸	۰/۴۵۰	۰/۰۶۰۰	−۰/۴۷۰	۰/۳۲۸
R^2		۰/۹۷۲		۰/۹۹۸		۰/۹۴۶		۰/۹۲۹		۰/۹۵۶	
Adj-R^2		۰/۹۴۸		۰/۹۹۷		۰/۸۹۸		۰/۸۵۰		۰/۹۱۶	
C.V. %		۱/۵۱		۰/۲۳۰		۱/۷۳		۵/۶۱		۲/۸۳	



ب) الف)

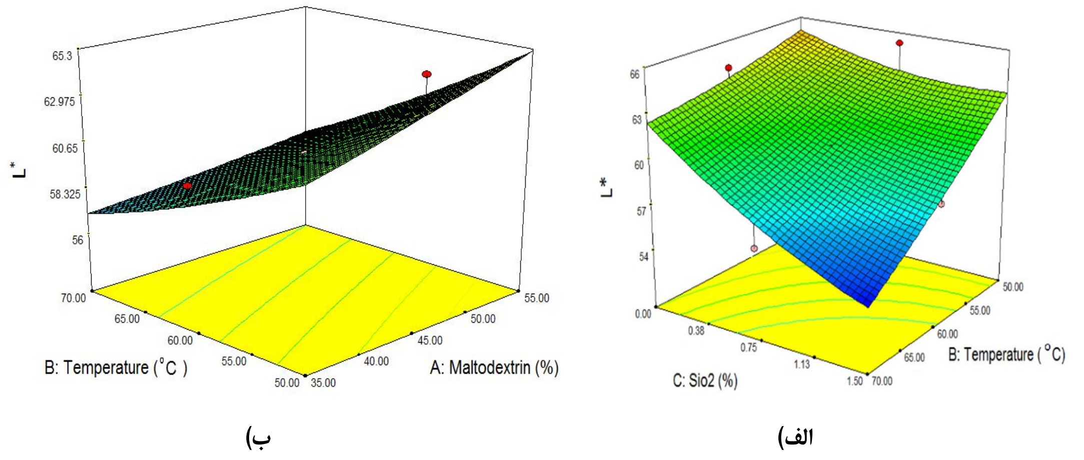
شکل 1- الف) تأثیر غلظت مالتودکسترین و دمای خشک کردن؛ ب) تأثیر سیلیکون دی‌اکسید و دمای خشک کردن بر رطوبت پودر خرما



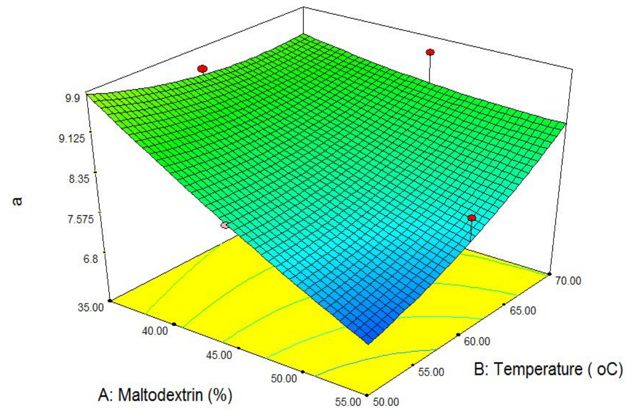
شکل 2- الف) تأثیر غلظت مالتودکسترین و دمای خشک کردن؛ ب) تأثیر غلظت سیلیکون دی‌اکسید و مالتودکسترین بر دانسیته پودر خرما

شکل 5-الف نشان می‌دهد که با افزایش غلظت مالتودکسترین شاخص *b رنگ پودر خرما افزایش یافت. با افزایش دمای خشک کردن نیز شاخص *b رنگ پودر خرما کاهش شدیدی یافت، ولی اثر متقابل این دو عامل سبب ایجاد روند افزایشی با شیب کم در شاخص *b رنگ پودر خرما گردید. این بدین معناست که میزان رنگ زرد موجود در رنگ پودر خرما افزایش یافت. همانطور که در شکل 5-ب مشاهده می‌گردد با افزایش مالتودکسترین شاخص *b رنگ پودر خرما افزایش یافت. با افزایش غلظت سیلیکون دی‌اکسید شاخص *b رنگ پودر خرما بطور خفیفی کاهش یافت، اثر متقابل این دو عامل نیز سبب افزایش شاخص *b با شیب کم درپودر خرما گردید ($P<0.05$). به‌طور کلی میزان رنگ زرد موجود در رنگ پودر خرما افزایش یافت. شکل 5-ج نشان می‌دهد که اثر متقابل این دو سیلیکون دی‌اکسید و دمای خشک کردن سبب کاهش شاخص *b رنگ پودر خرما می‌گردد ولی این تاثیر معنی‌دار نمی‌باشد ($P>0.05$).

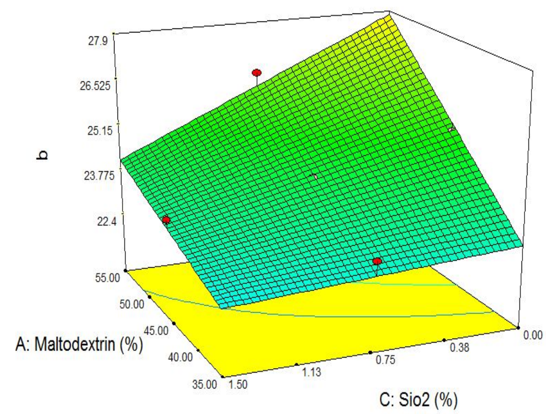
رنگ گوشت خرما قرمز تیره است در حالیکه پودر مالتودکسترین سفید است. پروفایل رنگ این دو مخلوط با تغییر در نسبت‌ها تغییر می‌کند. افزایش غلظت مالتودکسترین متمایل به سفید در خمیر خرمای متمایل به قرمز باعث افزایش سفیدی (مقدار شاخص *L) و در نتیجه کاهش میزان قرمزی (مقدار شاخص *a) پودر وافزایش میزان زردی (مقدار شاخص *b) شد و رنگ قرمز تیره خمیر خرما متمایل به زرد گردید. نتایج مشابه با یافته‌های این تحقیق توسط Farahnaky و همکاران (2016) در مورد پودر حاصل از شیره خرما نیز گزارش شده است. با افزایش دما سرعت واکنش میلارد افزایش یافته و رنگ پودر خرما تیره تر می‌گردد. در این حالت مقدار شاخص *L و *b کاهش و شاخص *a افزایش می‌یابد (بدیعی 1391، Rao *et al*. 2009 و Jaya and Das, 2004).



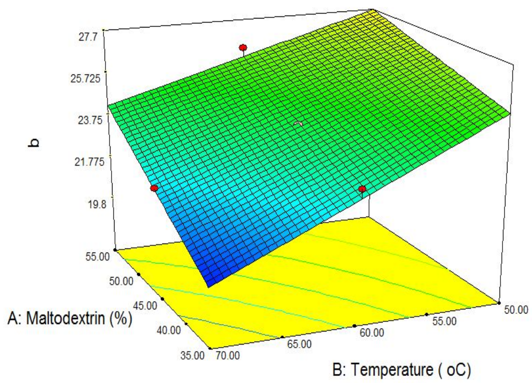
شکل 3- الف) تأثیر دمای خشک کردن و مالتودکسترین؛ ب) تأثیر سیلیکون دی اکسید و دمای خشک کردن بر شاخص *L پودر خرما



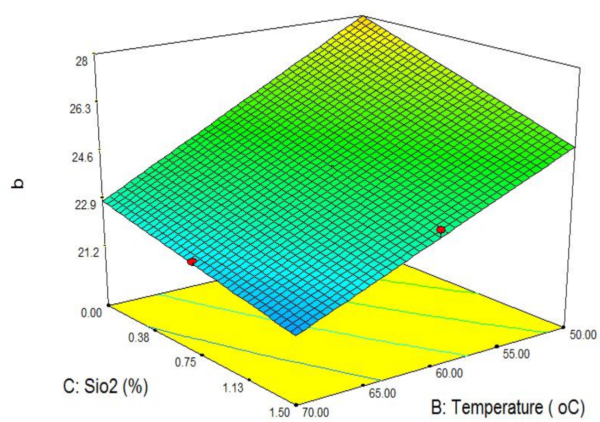
شکل 4- تأثیر دمای خشک کردن و مالتودکسترین بر شاخص *a پودر خرما



الف)



ب)



ج)

شکل 5- الف)تأثیر دمای خشک کردن و مالتودکسترین؛ ب) تأثیر سیلیکون دی اکسید و مالتودکسترین؛ و ج) تأثیر سیلیکون دی اکسید و دمای خشک کردن بر شاخص *b پودر خرما

بهینه‌سازی شرایط فرآیند پودر خرما

شرایط بهینه برای تولید پودر خرما با استفاده از درصدهای مختلف مالتودکسترین (35، 45 و 55 درصد وزنی) و سیلیکون دی اکسید (صفر، 0/75 و 1/5 درصد وزنی) و دماهای مختلف خشک کردن (50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد) برای دستیابی به کمترین مقدار رطوبت، بالاترین مقدار دانسیته، کمترین زمان خشک کردن، کمترین مقدار روشنایی پودر و بیشترین مقدار قرمزی رنگ تعیین شد

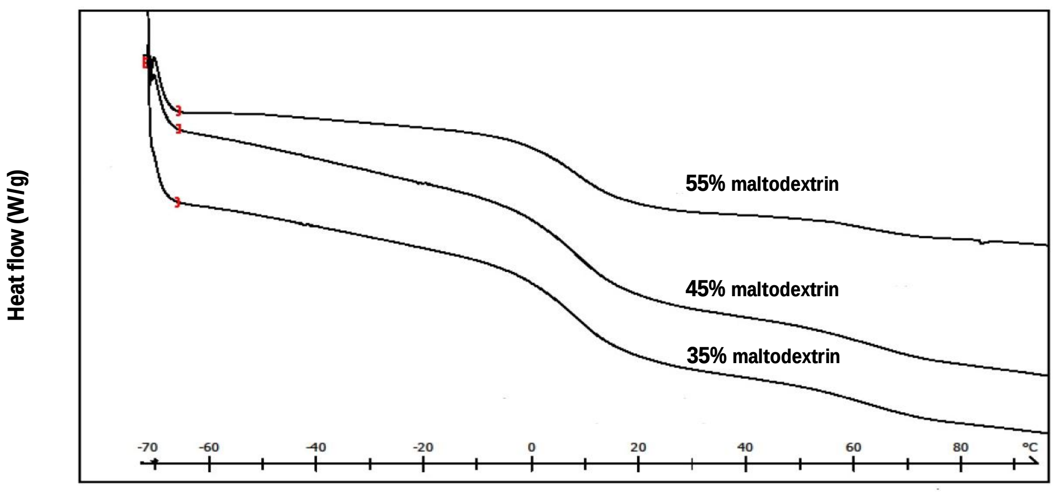
به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید پودر خرما، از تکنیک بهینه‌سازی عددی بر مبنای سهم نسبی هر کدام از پارامترها در تعیین کیفیت محصول نهایی استفاده شد و روش مطلوبیت نیز برای بهینه‌سازی متغییرهای فرآیند استفاده گردید. شرایط بهینه تعیین شده در فرآیند پودر خرما، دمای 70 درجه، 55 درصد وزنی مالتودکسترین و 0/75 درصد سیلیکون دی‌اکسید بود. در این شرایط میزان دانسیته، رطوبت پودر، *L، *a و *b و زمان خشک کردن به‌ترتیب g/cm^3 1/044، 3/667 درصد، 54/49، 10/34 و 22/64 و 10/5 بود.

خواص حرارتی پودر خرما

دمانگاشت‌های به‌دست آمده با DSC برای پودر خرما با درصدهای مختلف مالتودکسترین(35، 45 و 55 درصد) در شکل 6 نشان داده شده‌است. یک پدیده گرماگیر طی حرارت‌دهی در DSC مشاهده شد. در این‌حالت بخش بی‌شکل یا آمورف دچار انتقال شیشه‌ای شد و از حالت شیشه‌ای به لاستیکی تبدیل گردید. این انتقال به‌صورت تغییر پله‌ای در گرمای ویژه یا (ΔCp) مشخص می‌شود.

تأثیر مالتودکسترین بر دمای انتقال شیشه‌ای پودر خرما

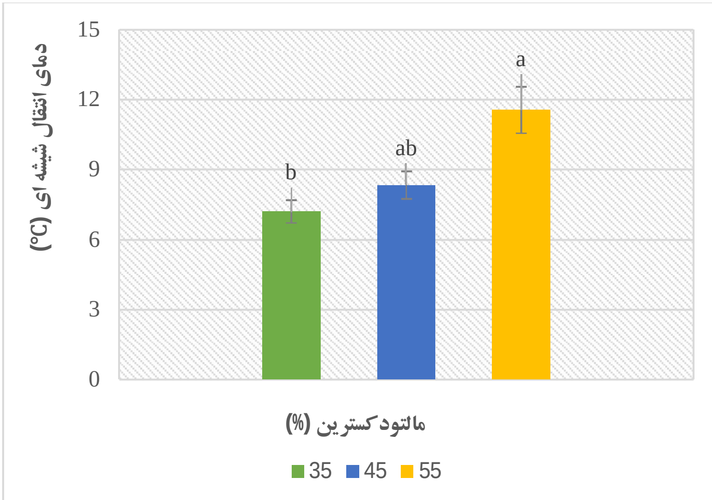
پس از مشخص شدن شرایط بهینه آزمایش، نمونه‌های پودر خرما با درصدهای مختلف مالتودکسترین و 0/75 درصد سیلیکون دی‌اکسید در دمای 70 درجه آماده و خواص حرارتی پودر خرما بر روی این نمونه‌ها انجام شد. آنالیز آماری نشان داد که مالتودکسترین تأثیر معناداری بر دمای انتقال شیشه‌ای ($P<0.05$) و گرمای ویژه پودر خرما ($P<0.01$) داشت.



شکل 6- دمانگاشت‌های DSC به‌دست‌آمده برای پودر خرما با درصدهای مختلف مالتودکسترین

همانطور که در شکل 7 مشاهده می‌گردد با افزایش مالتودکسترین دمای انتقال شیشه‌ای پودر خرما افزایش یافت. دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) قندها با وزن مولکولی کم نظیر فروکتوز و گلوکز بسیار پایین است و بهمین دلیل اکثر مواد غذایی پودری حاوی مواد قندی در دمای اتاق و حتی در رطوبت پایین چسبناک می‌شوند. با افزودن ترکیبات با Tg زیاد می‌توان چسبندگی پودرهای غنی از مواد قندی را کاهش و پایداری آن‌ها را افزایش داد. ترکیباتی نظیر مالتودکسترین برای افزایش Tg پودر اضافه می‌شود و دمای چسبندگی افزایش یافته و پایداری آن در دمای اتاق بهبود می‌یابد (Silva *et al.* 2006). دمای انتقال شیشه‌ای مالتودکسترین استفاده

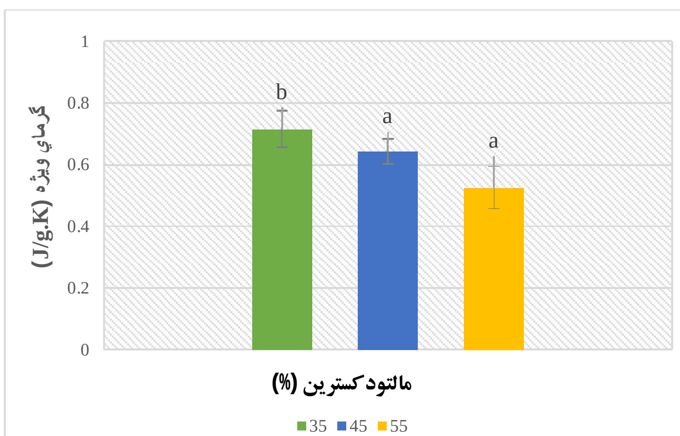
شده در این پژوهش برابر با 147/5 سانتی‌گراد است و افزودن آن به پودر باعث می‌شود که دمای انتقال شیشه‌ای متوسط افزایش یابد و در نتیجه پایداری پودر در دمای اتاق بیشتر شود. نتایج این پژوهش مطابق نتایج بدیعی و همکاران (1391) بر روی پودر خرمای شاهانی و Park و همکاران (2009) بر روی پودر گوشت مرغ هیدرولیز شده بود.



شکل 7- تأثیر مالتودکسترین بر دمای انتقال شیشه ای پودر خرماحاوی 0/75 درصد سیلیکون دی‌اکسید در دمای 70°C

تأثیر مالتودکسترین بر گرمای ویژه پودرخرما

همانطور که در شکل 8 مشاهده می‌گردد با افزایش مالتودکسترین گرمای ویژه پودر خرما کاهش یافت. افزودن مولکول درشتی نظیر مالتودکسترین به پودر خرما باعث می‌شود که تحرک و جنبش بخش آمورف که عمدتاً از قندهای با وزن مولکولی کم تشکیل شده است، محدود شود و در نتیجه تغییر گرمای ویژه در منطقه انتقال شیشه‌ای کوچکتر شود. نتایج این پژوهش مطابق نتایج بدیعی و همکاران (1391) بر روی پودر خرمای شاهانی و Park و همکاران (2009) بر روی پودر گوشت مرغ هیدرولیز شده بود.



شکل 8- تأثیر مالتودکسترین بر گرمای ویژه پودر خرما حاوی 0/75 درصد سیلیکون دی اکسید در دمای 70°C

نتیجه‌گیری

یکی از مشکلات تولید پودر میوه‌ها چسبندگی در طی فرآیند خشک شدن و نگهداری پودر است. چسبندگی پودر میوه به‌دلیل قندهای با وزن مولکولی کم مانند فروکتوز، گلوکز، ساکارز و اسیدهای آلی موجود در میوه است. بیشتر ماده خشک خرما را قندها تشکیل می‌دهند. در این تحقیق مالتودکسترین به‌عنوان کمک‌دهنده برای

کاهش چسبندگی، سیلیکون دی‌اکسید به‌عنوان ماده ضدکلوخه‌شدن به خمیر خرما قبل از عملیات خشک کردن، اضافه شد. با استفاده از روش سطح پاسخ اثر این مواد افزودنی بر خصوصیات پودر تولید شده مشخص و مدل مناسب پیشنهاد شد. با توجه به نتایج، خمیر خرما با 55% مالتودکسترین و 0/75% سیلیکون دی‌اکسید در دمای 70 درجه سانتی‌گراد بهترین نمونه تعیین شد. افزایش مالتودکسترین سبب افزایش دمای تغییر شیشه‌ای، کاهش گرمای ویژه‌ی پودر و چسبندگی محصول گردید.

منابع

Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V., Oliveira, V.M. 2004.Physical properties of powdered Pineapple (*Ananascomosus*) juice: effect ofmaltodextrins concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 74,285-287.

Agricultural Statistics. 2014. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy of Planning and Economics, *Center for Information and Communication Technology*, Vol. 3.

AOAC. 1990. Official methods of analysis of the AoAc. In: Harwich, K. (Ed.), Arlington: Association of official *Analytical chemists*.

Badii, F. 2012. Preparation of date powder from grade 2 fruit and study its physicochemical properties. Agricultural Engineering Research Institute. Karaj, Iran.

Behlau, L. and Widmann, G. 2008. Collection applications thermal analysis, food. Mettler Tolledo, 15-16.

Chao, C.H.A. and Kruger, R.R. 2007. The Date palm (*phoenix dactyliferal*.): *Overview of Biology, uses, and cultivation*, 42, (5), 1077-1078.

Chronakis, I.S., 1998. On the molecular characteristics, Compositional properties, and structural – functional mechanisms of maltodextrins: a review. *Critical Review in Food science and Nutrition*, 38(7), 599-637.

Dokic, L., Jakovljevicj, Dokic. P. 2004 Relation between Viscous characteristics and dextrose equivalent of multodextrins. *Starch – Starke*, 56 (11), 520 – 525.

FAOST data. 2010. http://faostat. FAO org/site/ 567//Desktop Default. Aspx? pageID= 56.

Farahnaky, A., Mansoori, N., Majzoobi, M. and Badii, F. 2016. Physicochemical and sorption isotherm propertiesof date syrup powder: Antiplasticizing effect ofmaltodextrin. *Food and Bioproduct Processing*, 98, 133-141.

Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. 2010. A new technique for spray drying orangejuice concentrate. *Innovative Food Scienceand Emerging Technologies* 11, 342-351.

Grabowski, J.A., Truong, V.D., Daubert, C.R. 2006. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder.*Journal of Food Science*, 71, 209-217.

Jaya, S. and Das, M. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol mono stearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63, 125-134.

Kha, T.C., Nguyen, M.H., Roach, P.D.2010. Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98, 385-392.

Mishra, P., Mishra, S. and Mahanta, C. L. 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproduct processing*, 92(3), 252-258.

Myers, R. H., Montgomery, D. C. 1995. Response surface methodology, process and product optimization using designed experiment (2nd ed.). New York: John Wiley and Sons.

Park, K., Emy Kurozawa, L., Dupas Hubinger, M. 2009. Effect of maltodextrin and gum Arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolyses protein, *Journal of Food Engineering*, 91, 287-295.

Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray dried water melon powder. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386-392.

Rao, P.V.K. J., Das, M., Das, S.K. 2009. Changes in physical and thermo-physical properties of sugarcane, Palmyra-palm and date-palm juices at different concentration of sugar. *Journal of Food Engineering*, 90, 559–566.

Roos, Y. H. 1995. Glass transition – related – related physicochemical changes in foods. *Food Technology*, 97, 100-102.

Sahari, M.A, Hamidi – Esfehani, Z., samadlui, M. 2008. Optimization of vacuum drying characteristics of date palm. *Drying Technology*, 26, 793-797.

Silva, M.A., Sobral, P.J.A., Kieckbusch, T.G., 2006. State diagrams offreeze-dried camucamu (Myrciaria dubia (HBK) Mc Vaugh) pulpwith and without maltodextrin addition. *Journal of Food Engineering*, 77,426–432.

Sablani, S. Shrestha, A. K., Bhandari, B. 2008. A new method of producing date powder granules: *physicochemical characteristics of powder*, 87, 416- 421.

Zheng, M., Jin, Z., Zhang, Y. 2007. Effect of cross – linking and esterification on Hygroscopicity and surface activity of cassava maltodextrins. *Food chemistry*, 103(4), 1375-1379.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 2, June. July. 2018, p. 427-438

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 2، خرداد- تیر 1397، ص 438-427

Study on the effects of different parameters on physicochemical and thermal properties of Kabkab date powder: Optimization of the temperature effect and anti-sticking agents

N. Abdi[1], N. Maftoonazad[2*], A. Heidarinasab[1], F. Badii[3]

Received: 2016.11.27
Accepted: 2017.05.27

Introduction: The date palm (*Phoenix dactylifera*), is one of the most important plants of arid desert area of the western and southern Asia and northern Africa for over 5000 years. Date fruit has a great importance in nutrition due to being a main source of carbohydrates, but it is low in fat and protein. Also it is a good source of many minerals and high amounts of antioxidants which prevent some diseases. This fruits is an important element in economy of date growing countries. Some factors such as variety, environmental impact of growing regions and large quantities of the produced date causes postharvest losses resulting in lower quality fruits. These amounts of fruit which are not consumed directly as fresh may have been used as raw materials to formulate some products like date syrup, powder, jam, etc. Date powder is a highly nutritional quality sweetener obtained from date for sucrose substitution in confectionary, bakery or ice cream industry. Stickiness is a problem in production of fruit powder during drying, transportation and storage. Stickiness in fruit powder is mainly due to the presence of low molecular weight sugar such as fructose, glucose, sucrose and organic acids in fruits. These compounds are very hygroscopic in the amorphous state and have low glass transition temperature and leads to increase stickiness and decrease stability of the product in room temperature. This research consisted of two major objectives: i) determination of an optimum proportion of date paste, silicon dioxide and maltodextrin and the most suitable temperature of drying; ii) characterization of physicochemical and thermal characteristics of date powder.

Materials and methods: Kabkab date was purchased from local market of Kazeroun, Fars, Iran. Moisture, ash, protein, fat, total sugar and dietary fiber contents were determined by AOAC methods (AOAC, 1997). Date flesh was minced by a kitchen meat grinder to make a smooth paste. Three different proportions of maltodextrin (35, 45 and 55% w/w) and three proportions of silicon dioxide (0, 0.75 and 1.5% w/w) were added to date paste to produce date powders. The mix was then spread to a thickness of about 5 mm on a Teflon coated tray and kept inside an oven dryer at 50, 60 and 70°C. The dry product was then ground in a hammer mill to produce date powder. The powder was immediately collected in plastic pouches and kept in desiccators to avoid moisture absorption from the air. Laboratory test sieves were used to collect date powder with particle size less than 1mm in diameter. Some physical and thermal characteristics of the powders were measured. Response surface methodology with central composite design was applied to minimize total number of experimental runs and to optimize the proportions of maltodextrin and silicon dioxide and also drying temperature. The dependent variables were density, moisture and color parameters. A completely randomized design was applied to analyze the effect of maltodextrin on thermal properties (glass transition temperature and specific heat) of date powder. Significant terms were found using ANOVA ($P<0.05$).

Results and discussion: Results showed that the second order polynomial models developed for density, moisture content and color parameters were fitted well to experimental data. Promoting drying temperature led to decreasing in moisture content and lightness of the date powder. The density increased by increasing temperature. Addition of maltodextrin resulted in increasing density, L* and glass transition temperature while the heat capacity and moisture content decreased. Increasing silicon dioxide content caused an increase in moisture content and density and decrease the lightness of the powder. The interaction between temperature and maltodextrin and that of temperature and silicon dioxide resulted in decreasing moisture content, L* and a*

1. Department of Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Fars, Iran
3. Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*Corresponding author Email: n.maftoon@areeo.ac.ir)

values while increasing density and b* value. The DSC thermograms of date powder indicated an endothermic peak during heating and the glass transition occurred in the amorphous region. Also a semi crystalline structure was observed for the product. Inclusion of a compound such a maltodextrin with high glass transition temperature resulted in increasing glass transition temperature of the date powder resulting in increase of final stability. Numerical optimization technique showed that the optimum condition to produce date powder was obtained by drying date paste containing 55% maltodextrin and 0.75% silicon dioxide at 70°C. In this condition, the density, moisture content, L*, a*and b* were 1.044 g/cm^3, 3,667% (g/g), 54.49, 10.34, 22.64; respectively.

Keywords: Kabkab date, bulk density, color, moisture, glass transition temperature, response surface methodology